

# Maintien de la fertilité physique des sols en milieu tropical humide sous culture du palmier à huile

J. P. CALIMAN (1), J. CONCARET (2), J. OLIVIN (3), F. DUFOUR (4)

**Résumé.** — En Côte-d'Ivoire, sur des sols ferrallitiques sableux, une baisse du potentiel de production a été observée sur des palmeraies de 2<sup>e</sup> génération situées dans la savane de Dabou. Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour expliquer cette évolution mais c'est finalement le phénomène de tassement et de compaction du sol qui paraît être le principal responsable dans l'état actuel des connaissances. Cet horizon, qui s'oppose au développement du système racinaire des palmiers, est mis en évidence par recours à la pénétrométrie. Les diverses observations effectuées indiquent que ce compactage serait une conséquence de la mécanisation lors des préparations de terrain et de l'entretien des palmeraies. L'étude de techniques correctives a conduit à mettre en place des essais de sous-solage avant replantation. Les résultats sur la croissance des jeunes palmiers sont intéressants : tous les paramètres observés indiquent un meilleur développement végétatif après sous-solage. Le système racinaire des palmiers est plus étendu, aussi bien en profondeur que latéralement. Ce résultat est la conséquence de l'amélioration structurale du sol obtenu par le sous-solage. L'apport d'amendement (gypse) est également étudié dans le but de stabiliser la structure du sol ainsi obtenue. Des résultats positifs sont observés sur la croissance des jeunes palmiers, bien que l'on ne décèle pas pour l'instant d'effet au niveau du sol.

## INTRODUCTION

En Côte-d'Ivoire, des baisses de production du palmier à huile ont été observées sur des replantations suivant l'arrachage d'une première génération de palmiers. De tels phénomènes se sont manifestés sur la plantation R. Michaux (IRHO) située sur la savane de Dabou dans le sud du pays. Ils n'apparaissent pas lors de première installation ou en plantation villageoise.

Les sols de Dabou sont développés sur sables tertiaires, formation qui recouvre une partie importante de la basse Côte-d'Ivoire.

L'étude du phénomène n'a pas révélé de problèmes particuliers relatifs à la physiologie ou à la pathologie du végétal mais Dufour (1985) signale, à faible profondeur dans le sol, des accidents structuraux qui se traduisent par des densités apparentes plus élevées que dans le reste du profil.

Nous avons effectivement observé de tels horizons sur de nombreux profils sous palmeraie. Ils paraissent constituer un barrage s'opposant à la pénétration verticale des racines.

Ces horizons sont particulièrement nets sous interligne de l'ancienne plantation c'est-à-dire aux emplacements affectés par de nombreux passages d'engins. Ils sont, par contre, atténués ou inexistant sous andain lorsque les techniques utilisées prévoient l'andainage des végétaux détruits.

Ces faits laissent penser que les phénomènes constatés sont, au moins en partie, liés à la mécanisation qui entraînerait des tassements ou des compactages. Ce type de dégradation semble se rencontrer sur un certain nombre de palmeraies de l'Afrique de l'ouest (Bénin, Cameroun) lorsque les préparations de terrains ou l'entretien ont été faits mécaniquement de façon brutale, engins lourds, sols trop humides (Quencez, 1988).

Des travaux ont été entrepris depuis quelques années afin de préciser les causes et l'importance de ces accidents et de rechercher des solutions applicables, techniquement et économiquement.

## LE MILIEU NATUREL

La plantation de Dabou est installée sur des sols ferrallitiques très désaturés dont la granulométrie est marquée par un taux élevé de sables (85 % dont 55 % de sables grossiers). Le taux d'argile (essentiellement Kaolinite) varie de 10 % environ en surface à 20 % en profondeur (vers 1 m). Les limons sont très faiblement représentés dans la granulométrie. Des expériences de percolation ont montré des entraînements importants d'hydroxydes d'aluminium et de fer ainsi que de silice, le pH jouant à cet égard un rôle important (Guyot *et al.*, 1985). Celui-ci est généralement légèrement inférieur à 5 dans le milieu naturel. Selon Delval (1981), la culture de palmier à huile a tendance à accentuer l'acidification.

Les sables tertiaires ont été modélisés en bas plateaux coupés par des séries de thalwegs plus ou moins profonds dont les flancs sont très sensibles à l'érosion.

Le climat présente une pluviométrie annuelle moyenne de 1 800 mm répartie sur les petite et grande saisons des pluies. La température moyenne annuelle est de 25,8 degrés centigrades avec des variations saisonnières de faible amplitude.

## LES ACCIDENTS CONSTATÉS

### Sur les sols

Les travaux conduits à Dabou ont été d'abord orientés vers la recherche d'observations et de mesures destinées à compléter les informations disponibles.

Afin de localiser, dans le profil, les horizons affectés et de quantifier l'intensité du phénomène, nous avons eu recours à la pénétrométrie. Cette technique permet d'amplifier les variations de densité du sol (Billot, 1986). Elle consiste à mesurer l'énergie nécessaire à l'enfoncement dans le sol d'une pointe conique calibrée fixée à l'extrémité d'une tige. L'appareil utilisé a été le pénétromètre statique tel que décrit dans les cahiers de l'ORSTOM (1973). La formule dite « des hollandais » permet de traduire en bars la résistance à la

(1) Plantation R. Michaux, IRHO Dabou, Côte-d'Ivoire

(2) Station d'Agronomie, INRA Dijon, France.

(3) Division Agronomie, IRHO Montpellier, France

(4) Division Palmier, IRHO Paris, France.

pénétration à partir de la profondeur d'enfoncement par coup de la pointe du pénétromètre :

$$R = A \times 1/E$$

R = résistance (bar)

E = enfoncement (cm)

A = coefficient du pénétromètre

$$A = 0.981 \times p \times H / (2 \times P \times S)$$

p = poids de la masselotte (kg)

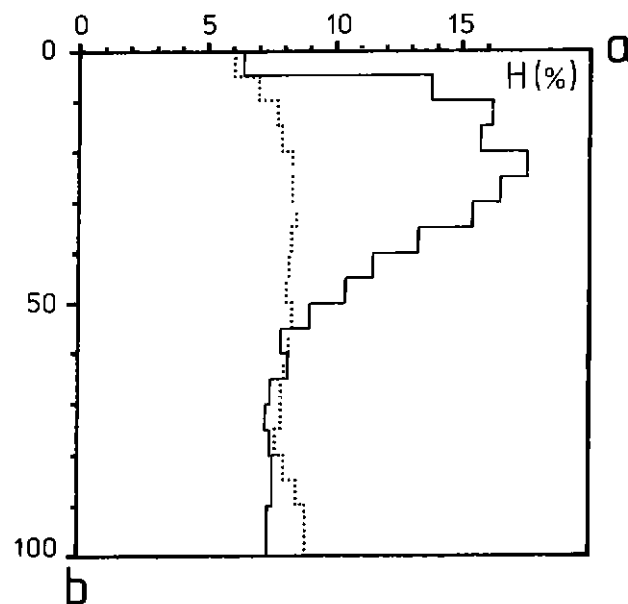
P = poids de l'ensemble de l'appareil (kg)

H = hauteur de chute de la masselotte (cm)

L'analyse des données a été effectuée en regroupant les observations par tranches de 5 cm. La caractérisation d'un site de surface restreinte, cas de parcelles expérimentales par exemple, nécessite 5 à 6 profils pénétrométriques pour obtenir une précision de l'intervalle de confiance inférieure à 10 %. Par ailleurs une étude méthodologique a été réalisée dans différentes situations (Rey, 1987). Elle a montré que 25 profils de résistance seulement suffisent à caractériser avec une précision satisfaisante (20 %) de l'intervalle de confiance un périmètre considéré comme homogène d'après les informations disponibles et quelle que soit sa surface. Dans tous les cas, il est important de réaliser les observations à même humidité afin d'obtenir des valeurs comparables.

Les mesures ont permis une vérification directe sur profil à humidité naturelle de la présence et de l'épaisseur de la couche affectée. Cette exploitation est illustrée par un exemple (Fig. 1) montrant les profils de résistance dans un interligne d'une palmeraie après abattage.

Ces études pénétrométriques ont été réalisées en diverses situations culturales ou naturelles afin de vérifier l'influence de ces situations sur l'évolution physique des profils. Ainsi, pour le type de sol le plus général, en comparant, à humidité analogue, les résultats obtenus sous savane et sous replantation (âgée de 11 ans), on constate, dans les 50 premiers centimètres, de fortes différences de résistance à la pénétra-



a. R (bar)

b. Profondeur (cm) (Depth - cm)

FIG. 1. — Pénétration interligne (Interrow penetrometry)

— Résistance (Resistance)  
 ..... Humidité (Humidity) (%)

tion (Fig. 2). La même expérience conduite sur une première génération de plantation montre la rapidité d'apparition des accidents (plantation âgée de 11 ans).

Il semble qu'il s'agisse d'un tassement avec rapprochement des éléments constituant les fractions granulométriques inertes laissant, étant donné la taille de ces éléments et leur relative homométrie, une importante porosité fermée peu accessible. Ceci devra être vérifié par recours à la micromorphologie.

### Sur l'enracinement

Les accidents culturaux constatés sont systématiquement accompagnés d'une limitation de l'enracinement en profondeur avec quelques rares passages à travers la zone tassée (Fig. 6).

La technique utilisée pour effectuer les profils racinaires est la tarière « hollandaise » fabriquée par Eijkelkamp (Hollande). Elle permet de prélever un cylindre de sol de 8 cm de diamètre, la profondeur de prélèvement variant avec le matériel disponible. Cette méthode est peu traumatisante pour les palmiers, perturbe peu le sol et permet de réaliser un nombre important de prélèvements.

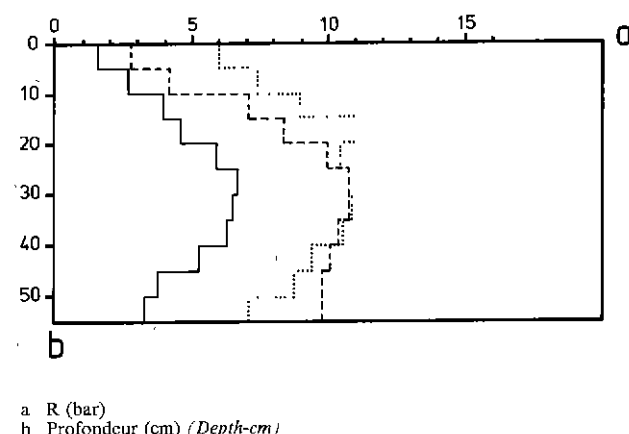
### LES TECHNIQUES CORRECTIVES

Une rupture de la couche tassée par sous-solage a été tentée par Dufour en 1983 à l'aide d'un ripper équipé de trois dents de 80 cm espacées de 1 m.

Cette expérience s'est heurtée à un certain nombre de difficultés :

— bourrage par les racines de palmier nécessitant de fréquents relevages ;

— faible importance de l'éclatement obtenu, les 10 à 15 derniers cm n'étant d'ailleurs représentés que par un simple moulage, phénomène signalé dans la littérature pour des dents de cette forme (profondeur critique : Spoor, 1976 ;



a. R (bar)

b. Profondeur (cm) (Depth - cm)

FIG. 2. — Résistance à la pénétration (Resistance to penetration).  
 Humidité : 10-11 % PS (Humidity : 10-11 % DW)

— Savane (Savannah)  
 ..... Extension (Extension)  
 - - - - - Replantation (Replanting)

Coquille *et al.*, 1984). Dans ce cas, le volume de sol bouleversé est de l'ordre de  $0,36 \text{ m}^3/\text{mètre linéaire/dent}$ , avec une profondeur effective de travail de 60 cm (Fig. 3).

Afin d'améliorer ces conditions, nous avons utilisé des dents munies d'ailettes telles que décrites par Coquille (1984), précédées de coudes circulaires capables de trancher les racines. Les dents primitives ont été allongées avec un profil modifié (1 m, légère courbure). Un ensemble de 2 dents a été monté sur parallélogramme de bulldozer. Cet appareillage permet un travail sur 80 cm de profondeur avec un volume bouleversé de l'ordre de  $1,15 \text{ m}^3/\text{ml/dent}$  (Fig. 4). Deux passages décalés de 1 m permettent d'éviter la présence à faible profondeur entre les dents de parties non touchées par le sous-solage. Plusieurs zones peuvent être distinguées dans la partie travaillée avec un remplissage de terre fine au fond de l'éclatement et des blocs latéraux déplacés et affectés de fissures provoquant une division en agrégats plus grossiers.

Le premier essai a été réalisé en 1985 sur 12 ha correspondant à l'arrachage d'une plantation de 30 ans. Cet essai comporte 6 blocs comparant témoin et sous-solage avec 72 palmiers par parcelle élémentaire. Le sous-solage a été réalisé sur la bande de plantation (soit sur environ 50 % de

la surface). Le dispositif a été prévu de telle sorte que le sous-solage ait une direction aussi proche que possible de celle des courbes de niveau afin de limiter les risques d'érosion (Caliman *et al.*, 1987).

L'utilisation d'amendement est également étudié en subdivision afin de tenter de stabiliser la structure obtenue après sous-solage. Quatre doses sont à l'étude : 0-2-5-10 tonnes/ha.

Le produit utilisé est le phosphogypse dont la composition est la suivante :

- $\text{P}_2\text{O}_5$  : 0.5 %
- $\text{CaO}$  : 25 %
- $\text{SO}_3$  : 42 %

## PREMIERS RÉSULTATS

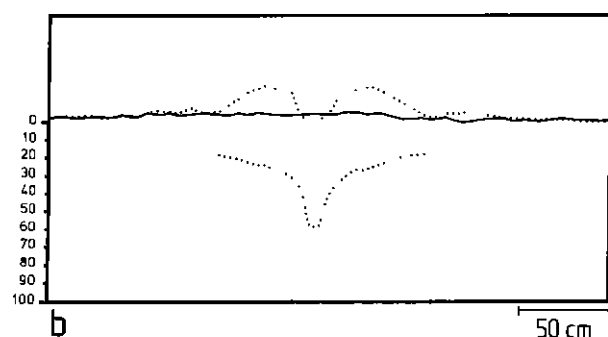
Cet essai est suivi régulièrement avec examen de l'évolution des caractéristiques des sols, de l'enracinement et des parties aériennes de la plante.

— Les tests de pénétrométrie font apparaître, à même humidité, un net déplacement vers de moindres résistances à l'enfoncement du pénétromètre (Fig. 5) et permettent de retrouver la forme de la zone bouleversée.

— L'aspérimètre assure une mesure du foisonnement et donc du gain de porosité totale. Celui-ci est, dans le cas le plus général, de l'ordre de 20 % immédiatement après l'opération. La réduction de ce gain dans le temps est suivie en fonction des précipitations cumulées.

— Les profils hydriques montrent que la dynamique de l'eau est modifiée par le sous-solage avec une plus grande amplitude des humidités du sol entre périodes sèches et humides et, en définitive, avec une légère augmentation des disponibilités en eau.

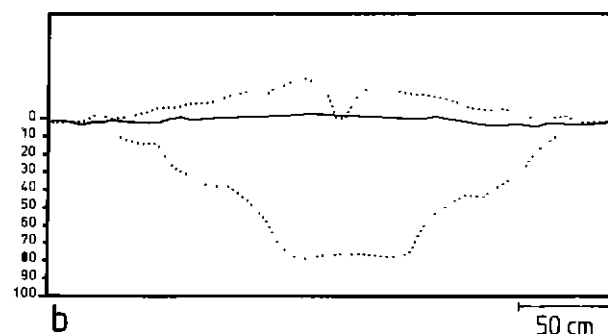
— Le développement racinaire, apprécié par pesée en fonction de la profondeur et de la distance à l'arbre, est nettement amplifié par le sous-solage.



b Profondeur (cm) (Depth - cm)

FIG. 3. — Résultat de sous-solage - Dent droite (Results of subsoiling : straight tine).

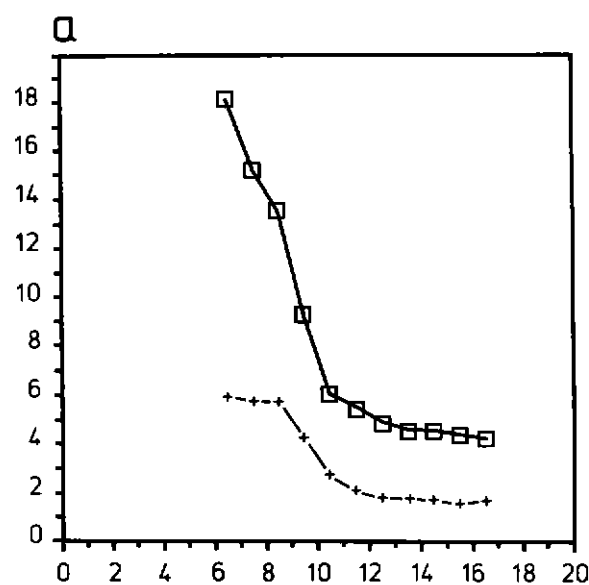
— Surface initiale (Initial area)  
 . . . . . Foisonnement - profondeur sous-solée (Expansion - depth subsoiled)



b Profondeur (cm) (Depth - cm)

FIG. 4. — Résultat de sous-solage - Dent à ailettes (Results of subsoiling : Bladed tine).

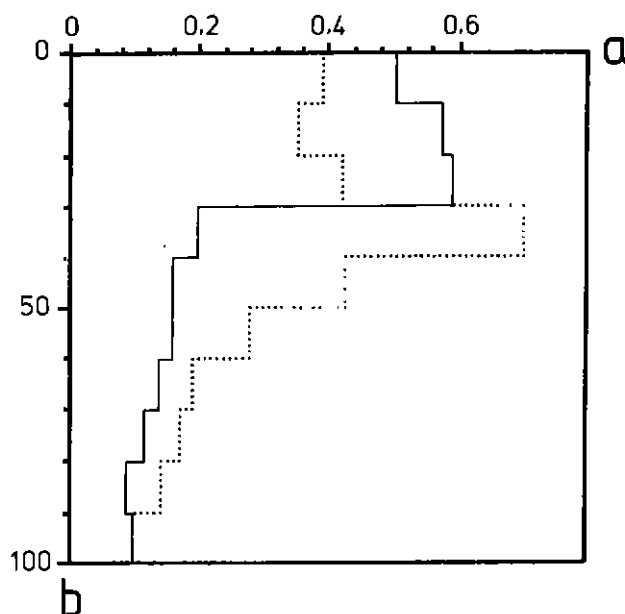
— Surface initiale (Initial area)  
 . . . . . Foisonnement - profondeur sous-solée (Expansion - depth subsoiled)



a Résistance (bars) (Resistance - bars)

FIG. 5. — Résistance du sol (Soil resistance). Comparaison témoin - sous-solage (Comparison : control - subsoiling). Humidité (% PS) (Humidity - % DW)

□ Témoin (Control)  
 + Sous-solage (Subsoiling)



(1) Différence  $P < 0,05$ .  
a : Poids sec (g/dm³) (Dry weight - g/dm³)  
b : Profondeur (cm) (Depth - cm)

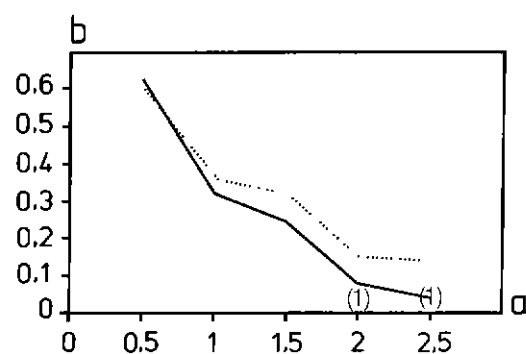
FIG. 6. — Profils racinaires, toutes distances : 0,5-2,5 m (Root profiles, all distances : 0,5-2,5 m).

Palmiers âgés de 2 ans (2 year - old oil palms)

— Témoin (Control)  
... Sous-solage (Subsoiling)

• approfondissement de l'exploration des racines (Fig. 6) : sur les parcelles témoins, 2/3 des racines sont localisées dans les 30 centimètres de surface. Après sous-solage, seulement 1/3 des racines se trouvent dans cet horizon. L'exploitation du sol est améliorée sur toute la profondeur touchée par le passage de l'outil (60-70 cm) ;

• meilleur développement horizontal des racines (Fig. 7), indiquant une croissance plus forte après sous-solage, la résistance du sol étant beaucoup plus faible en toutes saisons ;



(1) Différence  $P < 0,05$   
a : Distance (m) (Distance - m)  
b : Poids sec (g/dm³) (Dry weight - g/dm³)

FIG. 7. — Répartition du système racinaire en fonction de la distance au palmier, toutes profondeurs : 0 - 100 cm (Root system distribution according to distance from oil palm - all depths : 0-100 cm).

Palmiers âgés de 2 ans (2 year - old oil palms).

— Témoin (Control)  
... Sous-solage (Subsoiling)

• quantité totale de racines plus élevée : sur l'ensemble des profils, les mesures effectuées indiquent une quantité de racines après sous-solage supérieure de 21 % par rapport au témoin.

— Tous les paramètres mesurés ainsi que l'indice de vigueur évalué selon la formule de l'INEAC (1) indiquent un meilleur développement des palmiers installés après sous-solage (Tabl. I A) : depuis la mise en place de l'expérience, la circonférence au collet est améliorée de 6 à 8 % avec le sous-solage et la longueur de la feuille de 5 à 7 %. De même l'indice de vigueur, qui intègre plusieurs paramètres liés à ceux précédemment cités (CC, LF) est amélioré de 23 %.

$$(1) iv = \frac{C^2 D_2}{4\pi \cdot 4} + H^2$$

C = circonférence au collet  
D = diamètre de la couronne  
H = hauteur du palmier

TABLEAU I A. — Variation de quelques paramètres de végétation au cours du temps. Effets du sous-solage. —  
(Variations in some plant parameters over time. Effects of subsoiling).

Date (Date)	Circonférence au collet (Girth measurement)				Longueur de feuilles (Leaf length)				Indice de vigueur (Vigour index)			
	T cm	S cm	Différence		T cm	S cm	Différence		T dm³	S dm³	Différence	
			cm	%			cm	%			dm³	%
07/85	20,4	20,8	0,4	ns	50,7	51,5	0,8	+ 2 ns				
01/86	47,2	51,0	3,8	+ 8(2)	99,0	105,4	6,4	+ 6(2)				
06/86	61,0	66,0	5,0	+ 8(2)	129,9	136,6	6,7	+ 5(1)				
12/86	88,9	96,0	7,1	+ 8(2)	169,9	180,2	10,3	+ 6(2)	163,7	202,0	38,3	+ 23
06/87	125,3	134,9	9,6	+ 8(2)	209,8	223,6	13,8	+ 7(2)	409,2	494,9	85,7	+ 23
06/88	183,3	193,5	10,2	+ 6(1)	256,7	269,4	12,7	+ 5(1)				

(1) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,05$

(2) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,01$ .  
ns = non significatif (not significant)

TABLEAU I B — Observations sur les inflorescences femelles. Effet du travail du sol. —  
(Observations on female inflorescences. Effect of working soil).

	Date	Témoin (Control)	Sous-solage (Subsoiling)
Palmiers portant des inflorescences femelles (%) (Oil palms with female inflorescences)	01/87	23	39 (2)
	03/87	39	58 (2)
	05/87	59	74
Inflorescences femelles par palmier porteur (Female inflorescences per bearing oil palm)	01/87	2,6 (100)	2,8 (109)
	03/87	1,4 (100)	1,6 (113)
	05/87	1,6 (100)	1,8 (1) (112)
Inflorescences femelles par palmier (Female inflorescences per oil palm)	01/87	0,6 (100)	1,2 (2) (205)
	03/87	0,6 (100)	1,0 (2) (160)
	05/87	1,0 (100)	1,4 (1) (138)

(1) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,05$

(2) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,01$

ns = non significatif (not significant).

TABLEAU II A. — Variations de quelques paramètres de végétation. Effet de l'amendement. —  
(Variations in some plant parameters. Effects of ameliorator).

	Témoin (Control)	2 T/HA	5 T/HA	10 T/HA
Croissance végétative Juin 1987 (Vegetative growth - June 1987)				
Circonférence au collet (Girth measurement) (cm)	124,4 (100)	130,1 (1) (105)	130,9 (1) (105)	135,0 (1) (109)
Longueur feuille 9 (Length of leaf 9) (cm)	209,3 (100)	215,0 (1) (103)	218,8 (1) (105)	223,6 (1) (107)
Indice de vigueur (Vigour index) (dm <sup>3</sup> )	406,7 (100)	445,8 (1) (110)	458,9 (1) (113)	484,6 (1) (119)

(1) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,05$

(2) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,01$

ns = non significatif (not significant).

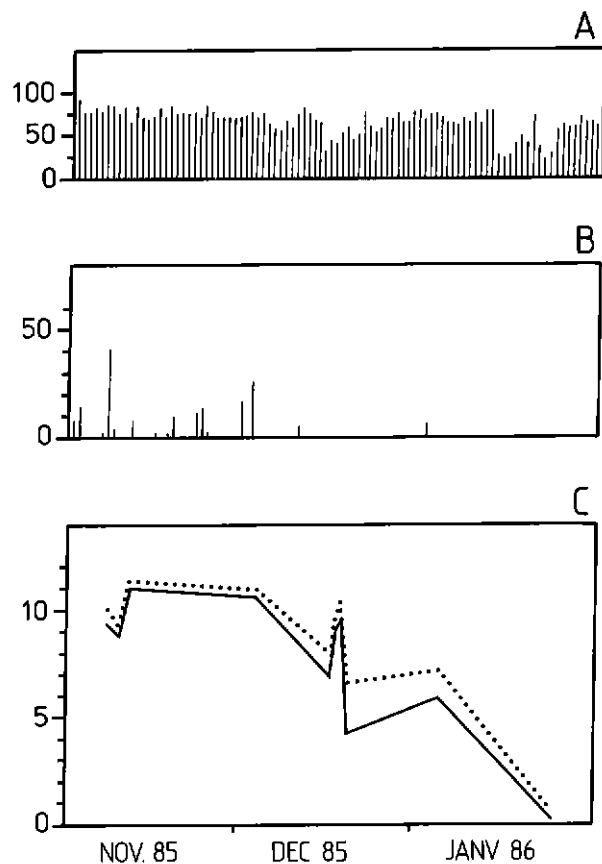
TABLEAU II B. — Observations sur les inflorescences. Effet de l'amendement. —  
(Observations on inflorescences. Effects of ameliorator).

	Date	Témoin (Control)	2 T/HA	5 T/HA	10 T/HA
Palmiers portant des inflorescences femelles (%) (Oil palms with female inflorescences)	01/87	25	30	33	36 ns
	03/87	37	45	55	56 (1)
	05/87	54	63	72	76 (1)
Inflorescences femelles par palmier porteur (Female inflorescences per bearing oil palm)	01/87	2,6	2,5	3,0	2,6 ns
	03/87	1,3	1,6	1,6	1,7 ns
	05/87	1,6	1,8	1,8	1,8 ns
Inflorescences femelles par palmier (Female inflorescences per oil palm)	01/87	0,7	0,8	1,0	0,9 ns
	03/87	0,6	0,7	0,9	0,9 (1)
	05/87	0,9	1,1	1,3	1,4 (1)

(1) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,05$

(2) Différence entre traitements (Difference between treatments)  $P < 0,01$

ns = non significatif (not significant).



A Hygrometric % - 12 h (Rel humidity % - 12.00)  
 B Pluviométrique mm (Rainfall mm)  
 C : OS (14 h) (SO 2 p m)

FIG. 8. — Ouvertures stomatiques - Palmiers de 6 mois (*Stomatal opening - 6 month - old palms*).

— Témoin (Control)  
 .... Sous-solage (Subsoiling)

— Les premières observations effectuées sur les inflorescences femelles indiquent une meilleure précocité des jeunes palmiers plantés après sous-solage : à 18 mois, 39 % ont débuté une phase sexuée femelle contre seulement 23 % sur les parcelles témoins. Ce gain semble s'être maintenu dans les mois suivants (Tabl. I B). Le nombre d'inflorescences femelles par palmier est également amélioré par le sous-solage.

— L'amendement a un effet positif sur l'ensemble des paramètres végétatifs aériens : circonférence au collet, longueur des feuilles, indice de vigueur (Tabl. II A), ainsi que sur la précocité des jeunes palmiers (Tabl. II B). En revanche, aucun effet n'a été observé à ce jour sur la structure du sol et le développement du système racinaire.

— La meilleure disponibilité en eau se traduit par une fermeture plus tardive des stomates (mesurée par la méthode de Mollish adaptée au palmier à huile : Daniel, 1979) lors de l'entrée en saison sèche (Fig. 8).

## CONCLUSION

Dans les conditions de l'expérience conduite à Dabou, tous les éléments dont nous disposons actuellement indiquent l'action favorable d'une dislocation par sous-solage des tassements consécutifs à la mécanisation. Il est évidemment nécessaire d'attendre la mise en production pour émettre des conclusions tenant compte à la fois des paramètres techniques et économiques de l'exploitation.

Même si, dans ce sol très fragile, les effets du traitement sur la division du sol n'ont qu'une durée limitée (à signaler toutefois que ceux-ci restent très nets après 3 ans), on peut penser que l'installation rapide d'un système racinaire plus puissant est déjà très favorable. Parallèlement des expériences sont en place afin de préciser la nécessité d'une adaptation des fumures à ces nouvelles conditions pour profiter au mieux des transformations obtenues.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BILLOT J. F., MARIONNEAU A. (1986). — Méthode de visualisation du tassement dans les vignes au moyen d'un pénétromètre « scanner » 2<sup>e</sup> Symp. Inter. sur la non culture de la vigne.
- [2] CALIMAN J. P., de KOCHKO P. (1987). — Quelques techniques culturales et aménagements spéciaux utilisables en plantation de palmiers à huile pour limiter l'érosion et le ruissellement *Oléagineux*, 43 (3), 99-106
- [3] COQUILLE J. C., CHOPINET B. (1984). — Contribution à la modélisation des outils de travail du sous-solage AFES. CR Colloque, 345-358.
- [4] de CRECY J., CONCARET J., PERREY C. (1984). — Essai de caractérisation du comportement mécanique des sols par pénétrométrie. AFES, CR Colloque, 329-343.
- [5] DANIEL C. (1979). — Utilisation du test stomatique pour le contrôle de l'alimentation en eau en plantation de palmiers à huile *Oléagineux*, 34 (6), 283-286
- [6] DELVAL D. (1981). — Evolution des sols sous palmeraie Rapport d'Université (E.N.S.A. Nancy)
- [7] DUFOUR F. O., OLIVIN J. (1985). — Evolution des sols de plantation de palmiers à huile sur savane. *Oléagineux*, 40 (3), 113-123
- [8] GUYOT J., CONCARET J. (1985). — Compte rendu d'expérimentations effectuées en laboratoire sur des échantillons de sol de la plantation Robert Michaux (communication personnelle).
- [9] ORSTOM (1973). — Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols N° 2.
- [10] QUENCEZ P. (1988). — Evolution et structure des sols en palmeraie Identification des problèmes au Bénin. Rapport interne IRHO, 19 p
- [11] QUENCEZ P. (1988). — Evolution et structure des sols en palmeraie Identification des problèmes au Cameroun. Rapport interne IRHO, 26 p.
- [12] REY H., QUENCEZ P. (1987). — Pénétrométrie : étude d'échantillonnage. Rapport interne IRHO
- [13] SPOOR G. (1976). — Effective Subsoiling *British Sugar Review*, 44 (2), 28-29.
- [14] SPOOR G., GODWIN R. J. (1978). — An experimental investigation into deep loosening of soil by rigid tines *J. Agric. Engng. Res.* 23, 243-258.



## SUMMARY

**Maintenance of physical soil fertility under oil palm in humid tropical regions.**

J. P. CALIMAN, J. CONCARET, J. OLIVIN and F. DUFOUR, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 3, p. 103-110.

Falling production potential has been observed on 2nd generation oil palm groves on sandy, ferrallitic soils in the Dabou Savannah in Côte-d'Ivoire. Several hypotheses have been put forward to explain this evolution, but it appears that the major culprit is the soil settling and compaction phenomenon, at least as far as we know at present. This horizon, which inhibits oil palm root system development, is revealed by penetrometry. The various observations made suggest that this compaction is due to the mechanisation of land preparation and plantation upkeep. A study of corrective techniques has led to the setting-up of trials on subsoiling before replanting. The effects on young palm development are interesting: all of the parameters observed indicate better vegetative development after subsoiling. The palm root system is more extensive, both vertically and laterally. This is a result of the improved soil structure obtained by subsoiling. The use of ameliorators (gypsum) is also being studied, in the aim of stabilizing the soil structure obtained with subsoiling. Positive consequences have been observed for young palm development, although there is not as yet any apparent effect on soils.

## RESUMEN

**Mantenimiento de la fertilidad física de los suelos en medio tropical húmedo bajo cultivo de palma africana.**

J. P. CALIMAN, J. CONCARET, J. OLIVIN y F. DUFOUR, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 3, p. 103-110.

En Côte-d'Ivoire se observó una disminución del potencial de producción en suelos ferralíticos arenosos, en palmerales de la 2da generación ubicados en la sabana de Dabou. Varias hipótesis han sido consideradas para encontrar una explicación a esta evolución, pero al fin y al cabo el mayor responsable considerando nuestros conocimientos actuales parece el fenómeno de apisonamiento y compactación del suelo. Este horizonte que contrarresta el desarrollo del sistema radical de la palma se evidencia por medio de la penetrometría. Las varias observaciones que se realizaron indican que esta compactación resultaría de la mecanización en la preparación de tierras y el mantenimiento de los palmerales. El estudio de las técnicas de corrección condujo a establecer experimentos de labor de subsuelo antes de la renovación. Los resultados en el crecimiento de las palmas jóvenes son interesantes: todos los parámetros observados indican un desarrollo vegetativo más favorable después de la labor de subsuelo. El sistema radical de las palmas es más extenso, tanto en profundidad como en sentido lateral. Este resultado se debe a la mejora estructural del suelo como resultado de la labor de subsuelo. La aportación de abono (yeso) también se estudia a fin de estabilizar la estructura del suelo así obtenida. Se observan resultados positivos en el crecimiento de las palmas jóvenes, a pesar de que de momento no se descubre ningún efecto en el suelo.

## Maintenance of physical soil fertility under oil palm in humid tropical regions

J. P. CALIMAN (1), J. CONCARET (2), J. OLIVIN (3), F. DUFOUR (4)

## INTRODUCTION

In Côte-d'Ivoire, falls in oil palm production have been observed on replantings after uprooting of first generation oil palms. Such phenomena have been seen on the R. Michaux plantation (IRHO) on the Dabou Savannah in the South of the country. They do not appear on first plantings or on smallholder plantations.

Dabou soils developed on tertiary sands, a formation which covers a major part of southern Côte-d'Ivoire.

A study of the phenomenon has not revealed any particular problems as regards plant physiology or pathology, but Dufour (1985) points out structural irregularities not far under the surface of the soil, which are reflected in higher bulk densities than in the rest of the profile.

Such phenomena have indeed been observed on many profiles under oil palm. They appear to form a barrier to vertical root penetration.

These horizons are particularly distinct under the interrows of the previous planting, i.e. in the areas affected by machinery passing back and forth. On the other hand, they are less pronounced or nonexistent under windrows where the techniques used include windrowing plant debris.

This suggests that the phenomena observed are at least partly linked to mechanisation, which causes settling and compaction. This type of degradation is met with on certain oil palm plantations in west Africa (Benin, Cameroon) where land preparation or upkeep are carried out mechanically and without due care (heavy machinery, soils too damp), Quencez, 1988.

Work has been undertaken over the past few years to identify the causes and significance of these irregularities and to find solutions which are both technically and economically applicable.

## THE NATURAL ENVIRONMENT

The Dabou plantation was set up on very desaturated ferrallitic soils whose texture is marked by a high percentage of sand (85 % including 55 % coarse sand). The amount of clay (essentially kaolinite) varies between around 10 % in the surface horizon and 20 % lower down (towards 1 m). There is very little loam. Percolation experiments have shown significant aluminium and iron hydroxide and silicon leaching, since pH plays an important role in this respect (Guyot *et al.*, 1985). This is generally less than 5 in the natural environment. According to Delval (1981), oil palm cultivation tends to increase acidity.

The tertiary sands have been shaped into low plateaux cut by several series of thalwegs of varying depth, whose sides are very prone to erosion.

The climate features mean annual rainfall of 1 800 mm, spread over short and long rainy seasons. Mean annual temperature is 25.8° Centigrade, with slight seasonal variations.

## THE IRREGULARITIES OBSERVED

## On soils.

The work carried out at Dabou concentrated firstly on observations and measurements destined to complete the information available.

In order to identify the affected horizons within the profile and to quantify the phenomenon, penetrometry was used. This technique makes it possible to amplify variations in soil density (Billot, 1986). It consists in measuring the energy needed to drive a calibrated cone, fixed to a rod, into the soil.

(1) R. Michaux Station, B.P. 8, Dabou, Côte-d'Ivoire

(2) Agronomy Station, INRA, Dijon, France

(3) IRHO/CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier, France.

(4) IRHO/CIRAD, 11, square Pétrarque, 75116 Paris (France).

A static penetrometer is used, as described in the Orstom manuals (1973). The so-called « dutch » formula enables resistance to penetration to be expressed in bar, based on the depth reached each time the penetrometer probe is dropped:

$$R = A \times 1/E$$

R = resistance (bar)

E = penetration

A = penetrometer coefficient

$$A = 0.981 \times p \times H / (2 \times P \times S)$$

p = cone weight (kg)

P = overall weight of the apparatus (kg)

H = height from which the probe is dropped

S = cone cross section (cm<sup>2</sup>)

The data obtained were analysed, grouping observations by 5 cm sections. A sample study identified the number of measurements necessary to characterize a given site: 5 or 6 profiles produce a confidence interval of less than 10 %. In addition, a methodological study was undertaken in various situations (Rey, 1987). It showed that only 25 resistance profiles are sufficient to characterise a zone considered homogeneous according to the information available, whatever its area, with a sufficiently accurate (20 %) confidence interval. In all cases, it is important to carry out observations at the same humidity level in order to obtain comparable values.

The measurements enabled direct verification, on the profile and at the natural humidity level, of the presence and thickness of the affected layer. This operation is illustrated by an example (Fig. 1), showing the resistance profiles in an oil palm plantation interrow after felling.

These penetrometric studies were carried out in various crop and natural situations in order to check the influence of the situations on the physical evolution of the profiles. Hence, for the most widespread soil type, when the results obtained under savannah and under replantings (11 years old) are compared, at similar humidity, wide variations in resistance to penetration are observed in the first 50 centimetres (Fig. 2). The same experiment, carried out on a first generation plantation, shows the rapidity with which irregularities appear (11 year-old trees).

It appears that the problem here is settling with concentration of the elements constituting the inert textural categories, which, given the size of these elements and their relative uniformity, leads to low, largely inaccessible porosity. This should be checked using micro-morphology.

### On rooting.

The crop irregularities observed are consistently accompanied by limited rooting at depth, with very few roots reaching beyond the compacted horizon (see Fig. 6).

The technique used for these root profiles is the « dutch » auger, manufactured by Eyelkamp (Holland). This enables 8 cm diameter soil cylinders to be sampled, the sampling depth varying according to the material available. This method has little effect on the oil palms, does not break up the soil much and means that a large number of samples can be taken.

### CORRECTIVE TECHNIQUES

In 1983, Dufour attempted to loosen the compacted layer by subsoiling, using a ripper with three 80 cm tines 1 m apart.

This experiment encountered a number of difficulties:

- root entanglement, necessitating frequent lifting;
- the low degree of loosening obtained, with the last 10 to 15 cm merely being turned over, a phenomenon which is mentioned in literature with this type of tine (critical depth: Spoor, 1976; Coquille *et al.*, 1984). In this case, the volume of soil turned over is in the order of 0.36 m<sup>3</sup>/linear metre/tine, with an effective working depth of 60 cm (Fig. 3).

In order to improve these conditions, we used bladed tines, as described by Coquille (1984), preceded by disc coulters capable of cutting roots. The basic tines were lengthened and their shape changed (1 m, slightly curved). 2 tines were mounted on a bulldozer parallelogram. This arrangement enables work at depths of up to 80 cm, with a volume turned over of around 1.15 m<sup>3</sup>/l m/tine (Fig. 4). Subsoiling 2 rows 1 m apart rules out the presence near the surface of areas between the tines which have not been subsoiled. Several zones can be distinguished in the worked area, with fine loamy soil refilling underneath the loosened zone and lateral blocks shifted and cracked, leading to more coarse aggregates.

The first trial was carried out in 1985 on 12 ha on which a 30 years-old plantation had been uprooted. The trial comprised 6 blocks comparing control and subsoiled plots, with 72 oil palms

per elementary plot. Subsoiling was carried out on the planting strip (i.e. on about 50 % of the area). The design was set out so that the subsoiling followed the contour lines as closely as possible, in order to limit the risk of erosion (Caliman *et al.*, 1987).

The use of ameliorators is also being studied in smaller areas in an attempt to stabilize the structure obtained after subsoiling. Four rates are being studied: 0, 2, 5 and 10 tonnes/ha.

The product used is phosphogypsum, whose composition is as follows:

— P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5 %
— CaO	25 %
— S	9 %

### PRELIMINARY RESULTS

This trial is monitored regularly, examining changes in soil, rooting and aerial plant development characteristics.

— At the same degree of humidity, penetrometry tests reveal a marked shift towards lower resistance to the penetrometer (Fig. 5), and enable the profile of the zone turned over to be identified.

— Measuring asperity gives an idea of expansion and hence of the increase in total porosity. In general, this is around 20 % immediately after the operation. The reduction in this increase over time is monitored according to cumulated rainfall figures.

— Water profiles show that water dynamics are modified by subsoiling, with greater variations in soil humidity between dry and wet periods and, all in all, a slight increase in available water.

— Root development, which is measured in terms of depth and distance from the tree, is markedly increased by subsoiling:

• deepening of roots (Fig. 6): on the control plots, 2/3 of the roots are concentrated in the top 30 cm. After subsoiling, only 1/3 of the roots are in this horizon. Soil exploitation is improved in the whole of the layer loosened by the machine (60-70 cm),

• better horizontal root development (Fig. 7), indicating increased growth after subsoiling, since soil resistance is much lower, regardless of season;

• increased total root quantity: over the profiles as a whole, the measurements made indicate a total root quantity 21 % higher after subsoiling, compared with the control.

— All of the parameters measured, and the vigour index, evaluated using the INEAC formula (1) indicate that existing oil palms develop better after subsoiling (Table I A): since the experiment was set up, girth measurements have increased by 6 to 8 % after subsoiling, and leaf length by 5 to 7 %. Similarly, the vigour index, which incorporates several parameters linked to those quoted above (girth measurement, leaf length) increases by 23 %.

— Preliminary observations made on female inflorescences show better precocity in young oil palms planted after subsoiling: at 18 months, 39 % have begun a female sexual phase, as against only 23 % on the control plots. This increase seems to have persisted over the following months (Table I B). The number of female inflorescences is also increased by subsoiling.

— The ameliorator has a positive effect on aerial plant growth parameters as a whole: girth measurement, leaf length, vigour index (Table II A), and on the precocity of young oil palms (Table II B). However, no effect has been observed as yet on root system development.

— Better water availability leads to later stomatal closing (measured by Mollish's method, adapted to oil palm: Daniel, 1979) at the start of the dry season (Fig. 8).

### CONCLUSION

Under the conditions of the experiment carried out at Dabou, all of the elements currently available suggest that using subsoiling to loosen the compacted areas caused by mechanization has a positive effect. It is obviously necessary to wait until the start of production before drawing any conclusions, taking both the technical and economic parameters of exploitation into account.

Even if, in this very fragile soil, the effects of treatment on soil structure last a limited time (although it should be noted that these effects are still very clear after 3 years), it can be considered that the rapid development of a stronger root system is already a very favourable start. At the same time, experiments are also under way to identify the need to adapt fertilization to these new conditions in order to best profit from the changes obtained.

$$(1) \quad v_i = \frac{C_2 D_2}{4\pi \cdot 4} + H^2$$

C = girth measurement

D = crown diameter

H = height of palm